中国生态农业学报 2016 年 5 月 第 24 卷 第 5 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, May 2016, 24(5): 668−673

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.151373

捡拾牦牛粪对高寒草甸植物功能群特征与生产力的影响*

刘丽丽 李希来**

(青海大学农牧学院 西宁 810016)

摘 要 青藏高原高寒草甸广大牧区由于交通不便、能源短缺和生活习俗等原因，牛粪依然是当地牧民的主要生活能源来源，长期、大量地捡拾牛粪改变了粪斑的数量和面积，使养分在天然草地上无法回到草地生态系统进行再循环，因而对草地植物群落结构和生物量产生一定影响，从而增加了生态风险。为探讨捡拾牛粪对草地的生态影响，本文以青海省河南县高寒草甸生态系统为研究对象，通过对适度放牧草地上牦牛粪开展为期3年的不捡拾、一半捡拾和全部捡拾 3 个处理的试验研究，探讨捡拾牛粪对高寒草甸生态系统植物经济功能群落特征和生产力的影响。结果表明：牛粪不捡拾处理的草地生产力显著低于半捡拾和全捡拾处理，植物多样性显著低于半捡拾处理，禾草类优良牧草生物量显著高于半捡拾和全捡拾处理，莎草类优良牧草生物量显著高于全捡拾处理；牛粪半捡拾处理比不捡拾处理草地植被丰富度显著提高 31.9%，植物多样性显著增加，群落生产力显著提高 9.7%(42.6 g·m^{-2})，优良牧草和可食牧草生物量变化不显著；牛粪完全捡拾比不捡拾处理也显著增加草地植被的丰富度，增幅为 10.7%，植物多样性显著增加，群落生产力显著提高 4.1%(17.96 g·m^{-2})，但同时毒杂草显著增多，优良牧草和可食性牧草显著减少，牧草适口性变差。捡拾(半捡和全捡)牛粪会使禾草类和莎草类优质牧草生物量显著减少，莎草类在完全捡拾牛粪区生物量极显著减少 70%以上；豆科植物生物量显著增加，在完全捡拾牛粪区生物量极显著增加，可达 5 倍以上；占总生物量 74%~79%的杂类草和毒草的生物量也显著增加，且以半捡拾区增量最多。适度的牛粪捡拾可增加植被的丰富度和多样性，也提高了植被的生物量，并可保证牧草的营养品质和适口性。本项研究结果可以为高寒草甸牧区牛粪的适度捡拾和草地生态系统可持续管理提供科学依据。

关键词 高寒草甸 捡拾牛粪 植物功能群 植物丰富度 生物量
中图分类号: S342.3; Q143+.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)05-0668-06

Influence of yak dung collection on characteristics and productivity of plant functional group of alpine meadow*

LIU Lili, LI Xilai**

(College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract In most pastoral areas of the Tibetan Plateau, yak dung is the only life energy source of herdsmen due to inconvenient traffic, energy shortage and life custom. Long term removal of large amount of yak dung from grassland ecosystem changes the amount and area of dung spots which induces nutrition recycle change of grazing grassland. The plant community and biomass of grassland consequently changes and ecological risk rises. To explore the ecological effects of yak dung collection, this paper focused on the characteristics and productivity of plant functional groups under full, half and none

---

* 科技部国际科技合作专项项目(2015DFG31870)、教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT13074)、国家自然科学基金项目(41161084)和青海大学中青年科研基金项目(2013-QNT-3)资助
** 通讯作者: 李希来，主要从事高寒草甸生态学与退化生态恢复研究。E-mail: xilai-li@163.com
刘丽丽，从事高寒草甸退化生态恢复研究。E-mail: llili118@163.com
收稿日期: 2015−12−28 接受日期: 2016−03−22

* This study was supported by the Special International Technology Cooperation Project of Ministry of Science and Technology of China (2015DFG31870), Changjiang Scholarship and Innovative Team Development Plan of Ministry of Education (IRT13074), the National Natural Science Foundation of China (41161084) and the Young and Middle-aged Scientific Research Fund of Qinghai University (2013-QNT-3).
** Corresponding author, E-mail: xilai-li@163.com
Received Dec. 28, 2015; accepted Mar. 22, 2016

yak dung collection treatments in moderate grazing alpine meadow ecosystem in Henan County, Qinghai Province. Plant composition, important values of plant species, vegetation growth and community characteristics of alpine meadow under different dung collection treatments were investigated after three years experiment. The results showed that under yak dung none-collection treatment, grassland productivity was significantly lower than those under half-collection and full-collection treatments, while biodiversity was significantly lower than that under half-collection treatment. The biomass of high quality gramineae forage grass was significantly higher than those under half-collection and full-collection treatments, the biomass of high quality cyperaceae forage grass was significantly higher than that under full-collection treatment. Under yak dung half-collection treatment, biomass was 42.60 $g\cdot m^{-2}$ with a significant increase of 9.7% compared with non-collection treatment. Vegetation abundance of yak dung half-collection treatment significantly enhanced 31.9%, while high quality forage grasses biomass unchanged compared with non-collection treatment. Under yak dung full-collection treatment, biomass and vegetation abundance significantly increased by 4.1% and 10.7%, respectively, high quality forage grass biomass decreased, meanwhile poisonous weeds biomass increased compared with non-collection treatment. Grass palatability of full-collection treatment got worse. Half or full collection of yok dung reduced the biomass of high quality forage grasses of gramineae and cyperaceae, especially cyperaceae grass biomass reduced by more than 70% under yak dung full-collected treatment. Leguminous grass biomass significantly increased by more than 5 times, while weeds and poisonous weeds biomass accounted for 74%–79% total biomass. It was indicated that moderate collection of yak dung increased vegetation richness and diversity, insured grass palatability, and meantime provided energy resource for herdsman in alpine meadow. The results may provide a principle for yak dung collection and scientific management of moderate grazing alpine meadow ecosystem.
Keywords　Alpine meadow; Yak dung collection; Plant group; Plant abundance; Biomass

青藏高原高寒草甸上遍布有约 1 400 万头牦牛，每天可在草地上产出超过 2.8 万 t 的牛粪[1]。研究发现，牛粪的分解影响着草地植被初级生产力和植物群落的物种多样性[2]，粪便对增加草地植物的生物量、植物的丰富度以及草本植物的多度具有重要贡献[3]，牦牛粪便的排泄和堆积显著地改善了生态系统物质和能量循环[4–5]。但在青藏高原高寒草甸广大牧区由于交通不便、能源短缺和生活习俗等原因，捡拾牛粪依然是当地牧民的主要生活能源来源，长期、大量地捡拾牛粪改变了粪斑的数量和面积，使养分在天然草地上无法回到系统进行再循环，对草地植物群落结构和生物量产生一定影响，从而增加了生态风险[6–7]。前人对于牛粪对草地生态系统影响的研究，多集中于牛粪堆放对于牛粪的分解及养分含量影响等方面，在捡拾牛粪量对植被的影响方面研究极少。因此，通过开展青藏高原高寒草甸适度放牧条件下牛粪捡拾量对植被功能群特征与生产力影响的研究，可以为当地的牛粪处理制定适宜的管理措施(如牦牛粪便采集时间、采集量等)，在保证牧民合理利用一部分牛粪的同时，降低粪便采集对草地生态系统的影响，这对当地资源的可持续利用以及该区脆弱草地生态系统可持续管理具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验地点位于青海省黄南藏族自治州河南蒙古族自治县优干宁镇的阿木乎村。河南县地处青海省南部青甘川三省结合部，34°50′~34°56′N，100°3′~102°6′E，平均海拔 3 600 m，西南与玛沁县、同德县毗连，北与泽库县相邻，东临甘肃省夏河、碌曲县，南接甘肃省玛曲县。全县总土地面积 6 997.45 km^2，其中草地面积 6 471.81 km^2，可利用面积 5 998.29 km^2。该区属高原大陆性气候、高原亚寒带湿润气候区，5—10 月份温暖多雨，11 月至次年 4 月份寒冷干燥，年均气温 −1~1.4 ℃。该区雨量充沛，年降水量 597.1~615.5 mm。年蒸发量偏大，平均 1 349.7 mm。草地类型以高寒草甸类为主，优势植物种有矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)等，主要伴生种有草地早熟禾(*Poa pratensis*)、紫花针茅(*Stipa capillata*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)等 20 余种。

1.2　试验设计与调查取样

1.2.1　试验设计

在试验点阿木乎村草场选择植被分布较均一、地势平坦、母质等一致性的原生草地作为试验区，试验区于 2010 年 9 月用铁丝围栏，草地采取冬春放牧夏秋禁牧、承载量规模适度、放牧牲畜量一致的利用方式。在试验区内并列选取 3 个 50 m×10 m 的草地作为样地，分别进行为期 3 年的牛粪全部捡拾(全捡拾)、牛粪一半捡拾(半捡拾)和牛粪完全不捡拾(不捡拾)的 3 个试验处理，在距围栏边缘至少 2 m 以上 3 个 50 m×10 m 样地内，各随机选取 3 个 1 m×1 m 样方作为重复取样。牛粪捡拾周期为 3~4 d，捡拾量以牛粪堆数衡量，半捡处理区先数出牛粪总堆数，然后等距离捡拾出总堆数的一半。

1.2.2 调查取样

于 2013 年 7 月底至 8 月中旬植物地上生物量达到高峰期时，进行群落调查取样。取样时首先记录每个样方内植物种类、株高和植被盖度，然后随机抽取样方内 0.5 m×0.5 m 的面积，将植物分种齐地面剪下并称其鲜重，装信封带回实验室，置于烘箱 75 ℃温度下烘干，12 h 后称重，以后每 2 h 称重，直至恒重，计算植物地上生物量干物质，分析植物功能群生产力。

1.3 研究方法

1.3.1 功能群分类

草地植物的功能群分类方法有很多种，按照草地生态系统研究常用的方法[8]，根据青藏高原高寒草甸植物群落物种的组成特点，将其按生活型分为：一年生或二年生植物、多年生禾草、多年生杂类草和莎草类 4 个功能群；按牧草适口性分为：毒草、劣等、中等、良等和优等牧草 5 个功能群[9]；按牧草经济价值可分为：禾草类、莎草类、豆科植物、杂类草和毒草 5 个功能群[10]，高寒草甸豆科植物有可食性牧草和有毒牧草，此分类将豆科植物单独列为一类，因此毒草中不再包含有毒豆科植物。高寒草甸的草原利用主要还是强调经济为目的，因此，确定本文对草地植物功能的研究以经济功能群分类。

1.3.2 种群数量特征

物种丰富度指数。一般用单位面积的物种数(即物种密度)，或者用每平方米的物种数表示。由于研究区的种群密度较大，因此物种丰富度采用目测估计法。物种丰富度用 1 m^2 样方出现的物种数表示，即物种丰富度指数=出现在 1 m^2样方的物种数[10−11]。

物种多样性指数。采用重要值、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数分析。重要值计算公式为：

重要值=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3×100% (1)

Shannon-Wiener 指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)多样性计算公式分别为：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i \tag{2}$$

$$J' = (-\sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i) / \ln S \tag{3}$$

式中：P_i 为种 i 的重要值；S 为样方物种总数，即物种丰富度指数[9]。

1.3.3 数据分析方法

每个处理的地上干物质生物量、丰富度指数、多样性指数数值均用各处理内 3 个样方的平均值计算得到。数据统计分析采用 SPSS 22 软件。

2 结果与分析

2.1 研究区内植物组成

调查结果显示，研究区内共有植物 14 科 33 属 37 种，均为被子植物，裸子植物在调查样方中未出现；双子叶植物为 12 科 27 属 30 种，单子叶植物为 2 科 6 属 7 种。33 属植物中以菊科(Asteraceae)5 属最多，占总属数的 15.15%；禾本科(Poaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)、豆科(Leguminosae)植物次之，各有 4 属；龙胆科(Gentianaceae)和玄参科(Scrophulariaceae)各 3 属；其余科分别各有 1~2 属不等(表 1)。

表 1 研究区高寒草地的植物组成

Table 1 Plant composition of alpine meadow in the study area

	科名 Family	属数 Genus number	种数 Species number	占比 Proportion (%)
单子叶植物 Monocotyledons	禾本科 Poaceae	4	4	10.81
	莎草科 Cyperaceae	2	3	8.11
双子叶植物 Dicotyledons	菊科 Asteraceae	5	6	16.22
	毛茛科 Ranunculaceae	4	4	10.81
	豆科 Leguminosae	4	4	10.81
	龙胆科 Gentianaceae	3	4	10.81
	玄参科 Scrophulariaceae	3	3	8.11
	石竹科 Caryophyllaceae	2	2	5.41
	蔷薇科 Rosaceae	1	2	5.41
	伞形科 Umbelliferae	1	1	2.70
	牻牛儿苗科 Geraniaceae	1	1	2.70
	蓼科 Polygonaceae	1	1	2.70
	葱科 Alliaceae	1	1	2.70
	藜科 Chenopodiaceae	1	1	2.70

2.2 捡拾牛粪对植物群落优势种的影响

根据对研究区植物重要值的计算结果可以看出(表 2)，全捡拾牛粪区优势种为甘肃马先蒿(*Pedicularis kansuensis*)，重要值为 11.60%，次优势种为草地早熟禾、高原毛茛(*Ranunculus tanguticus*)和矮生嵩草；半捡拾牛粪区优势种为垂穗披碱草，重要值为 9.04%，次优势种为草地早熟禾和异穗苔草(*Carex heterostachya*)；不捡拾牛粪区优势种为草地早熟禾，重要值为 12.23%，次优势种为垂穗披碱草。完全捡拾牛粪区主要的优势种并不是优良牧草，而半捡拾牛粪区和不捡拾牛粪区牧草的优势种均为优良牧草，说明完全捡拾牛粪后草地牧草种类适口性变差。

2.3 捡拾牛粪对植物功能群特征和生物量的影响

对不捡、半捡和全捡拾牛粪区 3 处理的植物功能群特征和生物量测定结果如表 3，可以看出：3 处

表 2　不同捡拾牛粪处理下高寒草地植物群落物种重要值

Table 2　Important values of plant species of alpine meadows under different treatments of dung collection　%

植物名称 Plant name	全捡拾牛粪 Dung full-collection	半捡拾牛粪 Dung half-collection	不捡拾牛粪 Dung non-collection
垂穗披碱草 *Elymus nutans* Griseb.	5.96±0.02	9.04±0.03	9.78±0.02
草地早熟禾 *Poa pratensis* L.	7.80±0.15	8.82±0.09	12.23±0.23
紫花针茅 *Stipa capillata* L.	—	5.16±0.21	—
中华羊茅 *Festuca sinensis* Keng ex S. L. Lu	6.35±0.09	5.59±0.12	6.41±0.10
异穗苔草 *Carex heterostachya* Bge.	3.92±0.32	7.59±0.58	3.80±0.31
矮生嵩草 *Kobresia humilis* (C. A. Mey. ex Trautv.) Sergiev	7.18±0.41	5.59±0.25	4.60±0.33
高山嵩草 *Kobresia pygmaea* C. B. Clarke	5.64±0.01	4.03±0.03	5.21±0.01
蒲公英 *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.	1.45±0.02	1.03±0.02	—
风毛菊 *Saussurea japonica* (Thunb. DC.)	1.04±0.01	1.03±0.01	1.04±0.01
美丽风毛菊 *Saussurea pulchra* Lipsch.	1.66±0.04	1.54±0.01	1.68±0.02
细叶亚菊 *Ajania tenuifolia* (Jacq.) Tzvel.	2.87±0.12	4.25±0.10	3.71±0.11
黄帚橐吾 *Ligularia virgaurea* (Maxim.) Mattf	6.01±0.17	3.74±0.04	5.48±0.09
紫菀 *Aster tataricus* L. f.	3.54±0.04	3.26±0.01	4.65±0.08
高原毛茛 *Ranunculus tanguticus* (Maxim.) Ovcz.	7.27±0.03	2.04±0.04	5.82±0.02
矮金莲 *Trollius farreri* Stapf	—	3.15±0.03	2.60±0.01
帚枝唐松草 *Thalictrum virgatum* Hook. f. & Thomson	—	1.60±0.01	2.40±0.01
银莲花 *Anemone cathayensis* Kitag.	—	2.76±0.09	—
花苜蓿 *Medicago ruthenica* (L.) Trautv.	4.27±0.12	3.23±0.07	4.89±0.08
米口袋 *Gueldenstaedtia verna* (Georgi) Boriss	3.62±0.07	2.17±0.01	3.68±0.03
黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge.	5.06±0.09	1.95±0.25	4.05±0.06
刺芒龙胆 *Gentiana aristata* Maxim.	2.81±0.05	2.79±0.05	2.85±0.05
秦艽 *Gentiana macrophylla* Pall.	5.51±0.06	1.59±0.03	—
湿生扁蕾 *Gentianopsis paludosa* (Hook. f.) Ma	2.08±0.01	2.64±0.01	—
四数獐牙菜 *Swertia tetraptera* Maxim.	—	1.44±0.09	2.26±0.01
甘肃马先蒿 *Pedicularis kansuensis* Maxim.	11.60±0.78	4.30±0.32	5.21±0.26
短腺小米草 *Euphrasia regelii* Wettst.	1.14±0.05	2.24±0.06	2.20±0.02
肉果草 *Lancea tibetica* Hook. f. et Hsuan	2.03±0.01	1.51±0.01	—
鹅绒委陵菜 *Potentilla anserina* L.	3.45±0.13	3.27±0.04	3.94±0.07
女娄菜 *Silene aprica* Turcz. ex Fisch. et Mey.	—	1.70±0.03	2.05±0.02
薄蒴草 *Lepyrodiclis holosteoides* (C. A. Mey.) Fisch. et Mey.	—	2.73±0.19	1.99±0.11
珠芽蓼 *Polygonum viviparum* L.	4.64±0.01	5.05±0.01	4.67±0.01
高山韭 *Allium sikkimense* Baker	1.90±0.02	1.49±0.01	—
老鹳草 *Geranium wilfordii* Maxim.	1.77±0.04	2.54±0.01	1.76±0.02
灰藜 *Chenopodium album* L.	—	1.76±0.02	—

理的植被盖度在 93%~95%之间，半捡拾区略高于不捡拾和全捡拾区。植被高度在 5.40~5.70 cm 之间，不捡拾区和半捡拾区差异不显著，但均显著高于全捡拾区。生物量在不捡拾、半捡拾和全捡拾牛粪处理下差异显著，以半捡拾区最高，比不捡拾区增加 9.7%；全捡拾区次之，比不捡拾区增加 4.1%；不捡拾区最低。丰富度指数在半捡拾处理下显著高于完全捡拾和不捡拾区处理，不捡拾处理最低，说明捡拾牛粪能显著增加植物丰富度，半捡拾和完全捡拾处理下植物丰富度可分别增加 31.9%和 10.7%。群落多样性指数在 1.64~1.77 之间，半捡拾区显著高于全捡拾区，与不捡拾区两者差异不显著。群落均匀度指数在不捡拾、半捡拾和全捡拾牛粪区差异不显著，说明捡拾牛粪对植被均匀度基本无影响。

2.4　捡拾牛粪对植物经济功能群生产力的影响

禾草类、莎草类、豆科植物、杂草类和毒草 5 个植物经济功能群的生产力对不同捡拾牛粪处理的响应不同，各处理不同植物经济功能群地上部生物量和群落占比如表 4。

表 3 不同捡拾牛粪处理下高寒草地植被生长和群落特征

Table 3 Vegetation growth and community characteristics of alpine meadow under different treatments of dung collection

处理 Treatment	植被盖度 Vegetation coverage (%)	植被高度 Vegetation height (cm)	丰富度指数 Plant abundance index	多样性指数 Shannon-Wiener index	均匀度指数 Pielou evenness index	生物量 Biomass ($g\cdot m^{-2}$)
不捡拾牛粪 Dung non-collection	93±3a	5.70±2.28a	15.90±1.50c	1.64±0.01b	0.49±0.01a	437.60±4.26c
半捡拾牛粪 Dung half-collection	95±2a	5.69±2.19ab	20.97±1.44a	1.77±0.02a	0.49±0.01a	480.20±5.21a
全捡拾牛粪 Dung full-collection	94±3a	5.40±1.79c	17.60±2.99b	1.68±0.01b	0.50±0.01a	455.56±3.59b

不同字母表示同列数据间差异显著($P<0.05$)。下同。Differences letters in the same column mean significant difference among treatments ($P < 0.05$). The same below.

表 4 不同捡拾牛粪处理下高寒草地不同植被经济功能群生物量及所占比例

Table 4 Biomass and proportion of different economic function groups of vegetation in alpine meadow under different treatments of dung collection

处理 Treatment	项目 Item	经济功能群 Economic function group					总量 Total
		禾草类 Gramineae	莎草类 Cyperaceae	豆科植物 Leguminous	杂类草 Weed	毒草 Poisonous weeds	
不捡拾牛粪 Dung non-collection	生物量 Biomass ($g\cdot m^{-2}$)	69.80±4.02a	37.60±2.33a	6.00±0.95b	152.72±3.97b	171.48±5.38b	437.60±4.26c
	比例 Proportion (%)	15.95±1.47a	8.59±0.97a	1.37±0.04b	34.90±3.61b	39.19±3.91ab	
半捡拾牛粪 Dung half-collection	生物量 Biomass ($g\cdot m^{-2}$)	55.88±1.45b	38.24±1.99a	7.20±0.65b	216.52±8.72a	162.36±3.59c	480.20±5.21a
	比例 Proportion (%)	11.64±1.05b	7.96±1.45ab	1.50±0.07b	45.09±6.34a	33.81±2.61b	
全捡拾牛粪 Dung full-collection	生物量 Biomass ($g\cdot m^{-2}$)	50.44±1.07c	9.36±0.59b	39.92±2.21a	164.12±4.54b	191.72±7.73a	455.56±3.59b
	比例 Proportion (%)	11.07±0.05b	2.05±0.07b	8.76±0.88a	36.03±1.85b	42.08±5.62a	

禾草类植物地上部生物量随捡拾牛粪量的增加呈下降趋势，全捡拾牛粪处理比不捡拾和半捡拾处理分别显著下降 27.7%和 9.6%；莎草类植物地上部生物量在不捡拾区和半捡拾区差异不显著，但均显著高于全捡拾区；豆科植物地上部生物量在不捡拾区和半捡拾区差异不显著，但在全捡拾区却显著高于不捡拾区和半捡拾区，其生物量是前两者的 5 倍多；杂类草植物地上部生物量以半捡拾区最高，显著高于全捡拾区和不捡拾区，后两者间差异不显著；毒草生物量以全捡拾区最高，半捡拾区最低，不同处理间差异显著。

禾草类和莎草类牧草是优质牧草，其生物量占草地植被总生物量的比例反映了草地的品质。半捡拾和全捡拾处理禾草类牧草生物量所占比例显著低于不捡拾处理，莎草类牧草生物量占比在完全捡拾处理极显著减少，只有不捡拾处理的 23.8%，不捡拾区和半捡拾区差异不明显；豆科植物生物量占总生物量的比例，完全捡拾区是不捡拾区或半捡拾区的 5 倍以上，由于研究区内豆科植物 90%以上为有毒牧草，因此完全捡拾区内豆科植物大量增加和莎草类植物显著减少，使草地呈退化趋势或状态；杂类草和毒草两者均为不良牧草，两者生物量之和占总生物量的 74%~79%，在牛粪捡拾(半捡或全捡)处理生物量占比显著高于不捡拾处理。可以看出不捡拾区牧草质量高、适品性较好；杂草和毒草生物量占比增加是捡拾牛粪后植物多样性和生产力增加的主要原因。

3 讨论与结论

有研究发现牛粪的分解影响草地养分循环、植物初级生产力以及植物群落的物种多样性[2]。本研究通过对牛粪捡拾量不同的 3 个样地植被多样性及经济类群生产力的对比发现，捡拾牛粪会改变植物的多样性、丰富度以及生物量等，这与前人研究结果基本一致。Davis 等[3]也提出相同的结论，牲畜粪便对于增加植物的生物量、植物的丰富度以及草本植物的多度具有重要贡献。本项研究中不捡拾和完全捡拾牛粪处理，植被的盖度、丰富度、多样性和生物量都低于半捡拾处理，说明可以适量、适度地捡拾牛粪，使草地生态系统向可持续管理方向发展，其原因可能是牛粪被部分捡拾后，牛粪斑底部地面裸露，其他植物种子入侵形成新种群，未捡拾的牛粪为草地新的种群提供足够养分促进其生长，因而增加了植被的丰富度和多样性，也提高了植被的生物量。

在植被的生产力方面，半捡拾牛粪区的生产力最高，而不捡牛粪区的生力最低。这与姜世成等[12]的结论相同，其认为牛粪堆积使植物生长面积变小，只能延及到牛粪堆外围 3~5 cm 处，其影响范围内的草地生产力降低 11.2%。原因可能是牛粪斑下植物

不能进行光合作用、空气流通不畅，植物会很快枯萎致死，从而导致了植被的生产力降低。

从不同植物类别的生产力来看，不捡拾牛粪处理的优良牧草的产量明显高于半捡拾和全捡拾牛粪处理，全捡拾牛粪区毒草的占比高于不捡拾和半捡拾牛粪处理，其原因可能是牛粪中养分分解后进入土壤，促进了其地上部植物生长。此外牛粪中还携带一些牦牛喜食植物的种子，牛粪分解后也会随着进入到土壤中，在合适的条件下萌发。在试验过程中还发现一个问题就是单子叶植物对牛粪的响应高于双子叶植物，只是没有找到相关的研究进行论证，这需要进一步去研究。

本研究只设置了不捡拾、半捡拾和全捡拾 3 个处理，实际上要研究合适的捡拾牛粪量，还应当适当地增加一些捡拾量的处理，才能得出更科学的结论，这有待于以后进一步研究。

本研究表明，捡拾牛粪会对草地植被特征和生物量产生影响。完全不捡拾牛粪使牛粪产生堆积，草地的生产力下降，但优良牧草和可食牧草的生产量增加；适量捡拾牛粪，可提高草地生产力，增加植被的丰富度和多样性，促进草地健康平衡发展；过度捡拾牛粪虽然可一定程度上增加植被丰富度和多样性，但会对牧草品质有一定影响。不同植物经济功能群对捡拾牛粪的响应不同。捡拾牛粪后，禾草类和莎草类优质牧草生物量会有所减少，尤其是莎草类在完全捡拾牛粪区生物量减少 70%以上；豆科植物生物量会有所增加，尤其是完全捡拾牛粪区生物量可增加 5 倍以上；杂类草和毒草生物量会有所增加，以半捡拾区增加最为显著。大量捡拾牛粪，会使草地杂类草和毒草变为优势种群，牧草的营养和品质下降，适口性变差。

参考文献 References

[1] 鱼小军．牦牛粪维系青藏高原高寒草地健康的作用机制[D]. 兰州：甘肃农业大学, 2010
Yu X J. The mechanism of maintaining alpine meadow health of the Tibetan Plateau with yak dung[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010

[2] Masahiko H, Nobumi H, Maki N, et al. Deposition and decomposition of cattle dung in forest grazing in southern Kyushu, Japan[J]. Ecological Research, 2009, 24(1): 119–125

[3] Davis A L V, Scholts C H, Philips T K. Historical biogeography of Scarabaeine dung beetles[J]. Journal of Biogeography, 2002, 29(9): 1217–1256

[4] Moe S R, Wegge P. Effects of deposition of deer dung on nutrient redistribution and on soil and plant nutrients on intensively grazed grasslands in lowland Nepal[J]. Ecological Research, 2008, 23(1): 227–234

[5] 马青山．施肥对高寒草甸草地群落及产量的影响[J]．草原与草坪, 2011, 31(3): 94–96
Ma Q S. Impact of fertilization on vegetation structure and yield of alpine meadow[J]. Grassland and Turf, 2011, 31(3): 94–96

[6] 何奕忻．牦牛粪便对青藏高原东部高寒草甸土壤养分系统的影响[D]．北京：中国科学院大学, 2009
He Y X. The influence of soil nutrition system on alpine meadow health of the eastern Tibetan Plateau[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2009

[7] 德科加，张德罡，芦光新，等．牦牛粪便对高寒草甸群落多样性及生产力的影响[J]．草原与草坪, 2013, 33(6): 9–13
De K J, Zhang D C, Lu G X, et al. Effect of yak dung on plant diversity and productivity of alpine meadow[J]. Grassland and Turf, 2013, 33(6): 9–13

[8] Symstad A J. A test of the effects of functional group richness and composition on grassland invisibility[J]. Ecology, 2000, 81(1): 99–109

[9] 张灵菲，张新中，张燕筌，等．鼢鼠土丘演替对植物功能群与生产力的影响[J]．草业学报, 2014, 23(2): 305–312
Zhang L F, Zhang X Z, Zhang Y S, et al. Effects of zokor-mound succession on plant functional group and productivity[J]. Acta Prataculturae Sinaca, 2014, 23(2): 305–312

[10] 陈亚明，李自珍，杜国祯．施肥对高寒草甸植物多样性和经济类群的影响[J]．西北植物学报, 2004, 24(3): 424–429
Chen Y M, Li Z Z, Du G Z. Effects of fertilization to plant diversity and economic herbage groups of alpine meadow[J]. Acta Botanic Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(3): 424–429

[11] 高贤明，马克平，陈灵芝．暖温带若干落叶阔叶林群落物种多样性及其与群落动态的关系[J]．植物生态学报，2001, 25(3): 283–290
Gao X M, Ma K P, Chen L Z. Species diversity of some deciduous broad-leaved forests in the ware-temperate zone and its relations to community stability[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2001, 25(3): 283–290

[12] 姜世成，周道玮．牛粪堆积对草地影响的研究[J]．草业学报, 2006, 15(4): 30–35
Jiang S C, Zhou D W. The impact of cattle dung deposition on grassland in the Songnen Grassland[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2006, 15 (4): 30–35